(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7000036号
(P7000036)

(45)発行日　令和4年1月19日(2022.1.19)

(24)登録日　令和3年12月27日(2021.12.27)

(51)国際特許分類		FI	
H02N	*2/04 (2006.01)*	H02N	2/04
H01L	*41/09 (2006.01)*	H01L	41/09
H01L	*41/053 (2006.01)*	H01L	41/053
H01L	*41/187 (2006.01)*	H01L	41/187
H01L	*41/313 (2013.01)*	H01L	41/313

請求項の数　12　（全23頁）

(21)出願番号　特願2017-90411(P2017-90411)
(22)出願日　平成29年4月28日(2017.4.28)
(65)公開番号　特開2018-191395(P2018-191395A)
(43)公開日　平成30年11月29日(2018.11.29)
審査請求日　令和2年4月2日(2020.4.2)

(73)特許権者　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100126240
弁理士　阿部 琢磨
(74)代理人　100124442
弁理士　黒岩 創吾
(72)発明者　林 潤平
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内
(72)発明者　田中 秀典
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内
(72)発明者　渡邉 隆之
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キ
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　振動子、振動子の製造方法、および電子機器

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
圧電素子および、矩形の板部と前記板部の面外に同方向に突出する２つの突起部を備えた振動板を有する振動子と、
前記２つの突起部に接した移動体と、
を有し、前記振動子に生じる振動により、前記振動子と前記移動体とが前記２つの突起部を結ぶ移動方向に相対移動する振動波モータであって、
前記圧電素子は、鉛の含有量が１０００ｐｐｍ未満である直方体状であり長辺が前記移動方向に沿って前記振動板に配された圧電セラミックスと、電極を備え、
前記圧電素子における前記移動方向に交差している対向する一対の側面部と前記振動板の一部が樹脂で被覆されており、
前記板部の面外に振幅を生じる、互いに交差しない２本の節線を生じる第１の振動モードの節線と、互いに交差しない３本の節線を生じる第２の振動モードの節線は、交差するよう構成されていることを特徴とする振動波モータ。
【請求項２】
前記振動板と前記圧電素子と対向する領域に樹脂が設けられており、前記領域の面積に対する前記領域に設けられた樹脂の面積の割合である面積被覆率が６０％以上である、請求項１に記載の振動波モータ。
【請求項３】
前記圧電素子の側面部の高さに対する前記圧電素子の側面の一部に設けられた樹脂の最大

高さの割合が５％以上７０％以下である請求項１または２に記載の振動波モータ。
【請求項４】
前記振動板と前記圧電素子と対向する領域に設けられた前記樹脂の最大厚みが０．５μｍ以上１０μｍ以下である請求項１乃至３のいずれか１項に記載の振動波モータ。
【請求項５】
前記樹脂はエポキシ系樹脂よりなる請求項１乃至４のいずれか１項に記載の振動波モータ。
【請求項６】
前記圧電素子の前記側面に沿った高さ方向の前記圧電セラミックスの厚みが０．２８ｍｍ以上２．０ｍｍ以下である、請求項１乃至５のいずれか１項に記載の振動波モータ。
【請求項７】
前記振動板は前記板部から前記突起部を結ぶ方向に突出する支持部をさらに備えており、前記板部と前記支持部は一体に形成されている請求項１乃至６のいずれか１項に記載の振動波モータ。
【請求項８】
前記圧電セラミックスは、チタン酸バリウム又はその置換体よりなるペロブスカイト型金属酸化物である請求項１乃至７のいずれか１項に記載の振動波モータ。
【請求項９】
給電部材をさらに有する請求項１乃至８のいずれか１項に記載の振動波モータ。
【請求項１０】
請求項１乃至９のいずれか１項に記載の振動波モータの製造方法であって、
前記圧電素子と前記振動板と樹脂前駆体を用いて前記圧電素子の側面の一部と前記振動板の一部が前記樹脂前駆体で被覆されるように貼り合わせ、
前記圧電素子と前記振動板を加圧接触した状態で前記樹脂前駆体を硬化させることを特徴とする振動波モータの製造方法。
【請求項１１】
請求項１乃至９のいずれか１項に記載の振動波モータと、前記振動波モータによって移動可能に設けられた光学部材を有することを特徴とする光学機器。
【請求項１２】
電子部品と請求項１乃至９のいずれか１項に記載の振動波モータを備えた電子機器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、振動子、振動子の製造方法ならびに該振動子を用いた振動波駆動装置、振動波モータ、光学機器および電子機器に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、圧電素子を用いる振動子の小型化、軽量化を目的としたさまざまな研究開発がなされている。特許文献１には、２つの異なる面外振動モードを組み合わせた合成振動によって駆動する小型の振動子を用いた振動型駆動装置（超音波モータ）が開示されている。振動子は、一般に、圧電素子と、弾性のある樹脂の層を介してその圧電素子と固着した振動板より構成される。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】特開２００４－２９７９１０号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
しかし、振動子の小型化すなわち、圧電素子と振動板の小型化に伴い、圧電素子と振動板との接着領域の面積に比して、圧電素子の端部が占める割合は増えることになる。また、

特許文献１に開示されているような２つの異なる面外振動モードを組み合わせた合成振動によって駆動する振動子は、駆動原理上、２つの面外振動モードの振動の腹線が圧電素子の端部に位置する。これらの理由により、該振動子を用いた振動波モータを連続的に駆動させると、該端部を起点とした剥離が生じる確率が高くなるという問題があった。また、近年、環境問題への対応が急務となっており、圧電素子を構成する圧電セラミックスとして広く使われていた鉛系のチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）にかわる非鉛系の圧電セラミックスの利用が求められている。しかしながら鉛系と比べ剛性の温度変化が大きい傾向にある非鉛系の圧電セラミックスを用いると、振動板の剛性との差異が変動しやすくなり、前述した剥離現象が生じやすいという問題があった。

【０００５】

本発明は、上述の問題に対処するためになされたものであり、非鉛系の圧電セラミックスを搭載した振動子においても、その振動子を構成する圧電素子と振動板との間の剥離の発生を抑えた振動子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明の一態様としての振動子は、

圧電素子および、矩形の板部と前記板部の面外に同方向に突出する２つの突起部を備えた振動板を有する振動子と、

前記２つの突起部に接した移動体と、

を有し、前記振動子に生じる振動により、前記振動子と前記移動体とが前記２つの突起部を結ぶ移動方向に相対移動する振動波モータであって、

前記圧電素子は、鉛の含有量が１０００ｐｐｍ未満である直方体状であり長辺が前記移動方向に沿って前記振動板に配された圧電セラミックスと、電極を備え、

前記圧電素子における前記移動方向に交差している対向する一対の側面部と前記振動板の一部が樹脂で被覆されており、

前記板部の面外に振幅を生じる、互いに交差しない２本の節線を生じる第１の振動モードの節線と、互いに交差しない３本の節線を生じる第２の振動モードの節線は、交差するよう構成されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【０００７】

本発明によれば、振動子を構成する圧電素子と振動板との間の剥離の発生を抑え、かつ環境問題にも対応した振動子およびその製造方法を提供できる。また、その振動子を用いた振動波駆動装置、振動波モータ、光学機器、電子機器を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】圧電素子の一実施態様を示した概略図である。

【図２】本発明の振動子の一実施態様を示した概略図である。

【図３】本発明の振動子の一実施態様を示した概略図である。

【図４】本発明の振動子の一実施形態を示した概略図である。

【図５】比較例の振動子の一実施形態を示した概略図である。

【図６】本発明の振動子の２つの面外振動モードの一実施形態を示した概略図である。

【図７】本発明の振動子の一実施形態を示した概略図である。

【図８】本発明の振動波駆動装置の一実施形態を示した概略図である。

【図９】本発明の振動波モータの一実施形態を示した概略図である。

【図１０】本発明の光学機器の一実施形態を示した概略図である。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

本発明の振動子は、圧電素子と振動板を有する振動子であって、

前記圧電素子は直方体状の非鉛系の圧電セラミックスと電極を備え、

前記圧電素子の側面の一部と前記振動板の一部が樹脂で被覆されていることを特徴とする

。本発明により、振動子を構成する圧電素子と振動板との間の剥離の発生を抑え、かつ環境問題にも対応した振動子を提供することができる。

【００１０】

本発明の振動子は、圧電素子と該圧電素子に樹脂を介して固着した振動板よりなる。

【００１１】

圧電素子と振動板とが弾性を有する樹脂の層を介して固着され、一体化されることにより、本発明の振動子は面外方向に曲げ振動の進行波（以下、面外振動と呼ぶ）を発生することができるようになる。

【００１２】

図１は本発明の振動子を構成する圧電素子の一実施態様を示した概略図であり、圧電素子１０１は、一片の直方体状の非鉛系の圧電セラミックス１とその圧電セラミックス１に設けられた複数の電極（第一の電極２と第二の電極３）よりなる。

【００１３】

圧電セラミックス１は、原料粉末を焼成して得られる組成が略均一のバルク（焼結体）であり、分極処理を施すと、２０℃において、圧電定数ｄ３１の絶対値が１０ｐｍ／Ｖ以上または圧電定数ｄ３３が３０ｐＣ／Ｎ以上を示すセラミックスである。

【００１４】

なお、一片とは、組成が略均一かつ繋ぎ目が無いことを指す。

【００１５】

また、直方体状とは直方体だけでなく、直方体の各辺が面取りされているような形状も含むことを意味する。

【００１６】

圧電セラミックスの圧電定数は、この圧電セラミックスの密度ならびに共振周波数および反共振周波数から、電子情報技術産業規格（ＪＥＩＴＡ　ＥＭ－４５０１）に基づいて、計算により求めることができる。以下、この方法を共振－反共振法と呼ぶ。

【００１７】

圧電セラミックスの密度は、例えば、アルキメデス法により測定できる。共振周波数と反共振周波数はインピーダンスアナライザを用いて測定できる。また、共振－反共振法以外にも、ベルリンコート法を測定原理に用いた圧電定数測定装置により圧電セラミックスの圧電定数を測定することも可能である。

【００１８】

圧電セラミックスはペロブスカイト型金属酸化物を含有していることが好ましい。圧電セラミックスはペロブスカイト型金属酸化物を含有することにより、他の結晶構造を取る金属酸化物よりも高い圧電定数を有することが可能になるからである。

【００１９】

前記複数の電極（第一の電極２と第二の電極３）は、厚み５ｎｍから１０μｍ程度の導電性の材料よりなる。圧電セラミックスに電圧を印加するためである。その材料は特に限定されず、例えば、Ｔｉ、Ｐｔ、Ａｕ、Ｎｉ、Ｐｄ、Ａｇ、Ｃｕなどの金属およびこれらの化合物を用いることができる。低コストかつ十分な導電性を有するという観点においては、銀ペーストが好ましい。銀ペーストによる前記複数の電極は、圧電セラミックス上に所望のパターンで前記銀ペーストを塗布し、乾燥または焼き付けることで形成できる。ここで、第一の電極は例えばグラウンド用の共通電極として、第二の電極は例えば駆動電圧を印加するための電極として使用できる。

【００２０】

図２は、本発明の振動子の一実施態様を示した概略図である。このように、樹脂層４は、圧電素子１０１と振動板５との接着領域から延在して、圧電素子１０１の振動板５との固着面に対して略垂直な圧電素子１０１の側面のうち少なくとも一部を被覆している。このような構成を採ることで、圧電素子と振動板との間に剥離の発生を抑えることができる。

【００２１】

ここで接着領域とは、図２（ｂ）に示すように圧電素子の振動板との固着面と振動板とが

接触する接着領域４１を指す。前記圧電素子が振動板より小さい時は、前記固着面の面積が接着領域の面積となる。また、振動板に貫通孔などの空孔が設けられている場合は、前記固着面の面積から空孔の面積を差し引いたものが接着領域の面積となる。

【００２２】

本発明の振動子は、前記振動板と前記圧電素子と対向する領域に樹脂が設けられており、前記領域の面積に対する前記領域に設けられた樹脂の面積の割合である面積被覆率が６０％以上であることが好ましい。

【００２３】

前記面積被覆率を前記範囲にすることにより、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率をより小さくすることができる。ここで、前記面積被覆率は、例えば、超音波映像装置によって得られる写真画像より計測することが可能である。一方、前記面積被覆率が６０％未満であると圧電素子と振動板との固着が不十分となり圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が高くなるおそれがある。

【００２４】

図３は、図２とは別角度から見た、本発明の振動子の一実施態様を示した概略図である。

【００２５】

図３（ａ）は振動子１０１１を圧電素子１０１の第二の電極３を有する面から見た図である。図３（ａ）に示すように、圧電素子１０１の側面のうち少なくとも一部を樹脂層４が被覆していれば、振動子１０１１は、圧電素子１０１と振動板５との間に剥離が生じる確率を小さくすることができる。ここで、前記固着面に対して略垂直な前記圧電素子の側面とは、前記固着面とその対向する面以外の４つの面を指す。つまりは、圧電素子の第一の電極２を有する面と第二の電極３を有する面以外の４つの面のことである。

【００２６】

図３（ｂ）、（ｃ）、（ｄ）も振動子１０１１を圧電素子１０１の第二の電極３を有する面から見た図である。図３（ｂ）、（ｃ）に示すように、樹脂層４が圧電素子１０１の対向する一対の側面を被覆していることが好ましい。ここで、振動子１０１１は振動子１０１１を構成する圧電素子１０１の形状が一片の直方体状であることから、圧電素子１０１の長手方向および短手方向において、圧電素子１０１の伸縮に応じた対称性（線対称）のある振動が生じる。そのため、圧電素子１０１の対向する一対の側面を樹脂層４で被覆することによって、振動の対称性を失うことなく、かつ所望の振動以外の振動（いわゆる、不要振動）の影響を受けない効率のよい振動を生じさせることができる。その結果、圧電素子１０１と振動板５との間に剥離が生じる確率をより小さくすることができる。より好ましくは、図３（ｄ）のように樹脂層４が全ての側面を被覆していることが好ましい。

【００２７】

また、図３（ｅ）、（ｆ）も振動子１０１１を圧電素子１０１の第二の電極３を有する面から見た図である。側面の被覆はこれらの図のように、３つ面であっても構わない。

【００２８】

本発明の振動子は、前記圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部に設けられた樹脂の最大高さの割合が５％以上７０％以下であることが好ましい。前記割合を前記範囲にすることにより、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率をより小さくすることができる。ここで、前記割合について図４を用いて説明する。図４（ａ）は圧電素子の固着面の長辺側から見た本発明の振動子の断面概略図であり、樹脂層は圧電素子の固着面の短辺側に延在している。また、図４（ｂ）は圧電素子の固着面の長辺側から見た本発明の振動子の一実施形態を示した概略図であるが、樹脂層は圧電素子の固着面の長辺側に延在している。前記割合は、圧電素子の側面部の高さ方向の長さＡに対する樹脂層の最大高さＢの割合で定義される。前記割合が７０％より大きいと振動子の振動を阻害するおそれがある。一方、図５（ａ）、（ｂ）は本発明に含まれない比較例の振動子を圧電素子の固着面の長辺側から見た断面概略図であり、前記割合が５％未満の例である。ここで、図５（ｂ）の圧電セラミックスは、いわゆる面取り処理が施されている例である。図５（ａ）、（ｂ）ともに、樹脂層が圧電素子の前記側面部を被覆していない。前記割合が５％未

満であると圧電素子と振動板との固着が不十分となり圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率を高くなるおそれがある。ここで、前記割合は、例えば、光学顕微鏡によって得られる写真画像より計測することが可能である。

【００３０】

また、本発明の振動子は、前記振動板と前記圧電素子と対向する領域に設けられた前記樹脂の最大厚みが０．５μｍ以上１０μｍ以下であることが好ましい。前記最大厚みを前記範囲にすることにより、樹脂層の機械的強度が十分となる。また、圧電素子から生じる振動を振動板に効率よく伝達することが可能になる。ここで前記最大厚みは、振動子を切断し、その破断面を、例えば、走査型電子顕微鏡（以下、ＳＥＭと呼ぶ）によって得られる写真画像より計測することが可能である。ここで、前記最大厚みが１０μｍより大きいと圧電素子から生じる振動が振動板に十分に伝達されないおそれがある。一方、前記最大厚みが０．５μｍより小さいと樹脂層の機械的強度が不十分となり、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が高くなるおそれがある。

【００３１】

さらに、本発明の振動子は、前記樹脂が前記圧電素子と対向する前記振動板の平面にのみに設けられていることが好ましい。このような構成を採ることにより、圧電素子の伸縮に応じた振動を振動板に効率よく伝達することが可能になる。一方、前記樹脂層が前記振動板の面外に位置すると、圧電素子の伸縮に応じた振動が振動板に十分に伝達されないおそれがある。

【００３２】

また、前記樹脂層はエポキシ系樹脂よりなることが好ましい。他の樹脂と比較して、耐水性および耐熱性に優れるからである。

【００３３】

前記圧電素子の前記側面に沿った方向の前記圧電セラミックスの厚みが０．２８ｍｍ以上２．０ｍｍ以下であることが好ましい。前記厚みを前記範囲にすることにより、圧電セラミックスの機械的強度が十分かつ、圧電素子から生じる振動を振動板に効率よく伝達することが可能になる。ここで、前記厚みが２．０ｍｍより大きいと圧電素子に振動を生じさせる必要電圧が大きくなるおそれがある。一方、前記厚みが０．２８ｍｍより小さいと圧電セラミックスの機械的強度が不十分となるおそれがある。

【００３４】

本発明の振動子は、前記振動板に生じる、互いに交差しない２本の節線を有する第１の振動モード（振動モードＡ）の節線と、互いに交差しない３本の節線を有する第２の振動モード（振動モードＢ）の節線は、交差するように構成されている。そして前記樹脂が、前記振動モードＡの腹線と前記振動モードＢの腹線の少なくとも一方が生じる部位を被覆していることが好ましい。

【００３５】

図６は本発明の振動子の面外振動モードの一実施形態を示した概略図であり、振動板５は突起部５１を有している。突起部５１を有すると、振動子１０１１が発生する振動を接触体（例えば、後述する被駆動体）に効率よく伝達することができる。

【００３６】

図６（ａ）に示した面外振動モードは、２つの面外振動モードのうち一方の面外振動モード（以下、モードＡと呼ぶ）を表している。このモードＡは、直方体状（矩形）の振動子１０１１の短辺方向（矢印Ｙ方向）における１次の面外振動であり、長辺方向（矢印Ｘ方向）と略平行な２本の節線を有している。ここで、前記２本の節線は互いに交差しない。

【００３７】

本発明の振動子は、前記振動板が板部と支持部を備えており、前記板部と前記支持部は一体に形成されていることが好ましい。図７は本発明の振動子の一実施形態を示した概略図であり、振動板５の面外に接続された振動板５と同素材の支持部６を有する態様である。このような構成を採ることにより、該振動子から発生した振動を阻害することなく、後述する振動波モータ等の圧電デバイスに適用することが容易となる。また、図７のように支

持部に穴を設け、その穴に固定部を嵌合させることにより、圧電デバイスの構造設計に多様性をもたせることができる。

【００３８】

前記圧電セラミックスの鉛の含有量は、１０００ｐｐｍ未満、すなわち非鉛系であることが好ましい。従来の圧電セラミックスは、そのほとんどがジルコン酸チタン酸鉛（ＰＺＴ）を主成分とする。そのため、例えば圧電素子が廃却され酸性雨を浴びたり、過酷な環境に放置されたりした際に、圧電セラミックス中の鉛成分が土壌に溶け出し、生態系に害を及ぼす可能性が指摘されている。しかし、鉛の含有量が１０００ｐｐｍ未満であれば、圧電素子が廃却され酸性雨を浴びたり、過酷な環境に放置されたりしても、圧電セラミックスに含まれる鉛成分が環境に及ぼす影響は無視できるレベルとなる。圧電セラミックスに含まれる鉛の含有量は、例えば蛍光Ｘ線分析（ＸＲＦ）、ＩＣＰ発光分光分析により定量された圧電セラミックスの総重量に対する鉛の重量によって計測することができる。

【００３９】

前記圧電セラミックスは、圧電定数が高く、かつ製造が比較的容易であるという観点からチタン酸バリウム又はその置換体よりなることが好ましい。ここでチタン酸バリウム又はその置換体とは、チタン酸バリウム（ＢａＴｉＯ３）、チタン酸バリウムカルシウム（（Ｂａ、Ｃａ）ＴｉＯ３）、チタン酸ジルコン酸バリウム（Ｂａ（Ｔｉ、Ｚｒ）Ｏ３）、チタン酸ジルコン酸バリウムカルシウム（（Ｂａ、Ｃａ）（Ｔｉ、Ｚｒ）Ｏ３）、ニオブ酸ナトリウム－チタン酸バリウム（ＮａＮｂＯ３－ＢａＴｉＯ３）、チタン酸ビスマスナトリウム－チタン酸バリウム（（Ｂｉ、Ｎａ）ＴｉＯ３－ＢａＴｉＯ３）、チタン酸ビスマスカリウム－チタン酸バリウム（（Ｂｉ、Ｋ）ＴｉＯ３－ＢａＴｉＯ３）などの組成や、これらの組成を主成分とした材料のことを指す。中でも、圧電セラミックスの圧電定数と機械的品質係数を両立できるという観点において、チタン酸ジルコン酸バリウムカルシウム（（Ｂａ、Ｃａ）（Ｔｉ、Ｚｒ）Ｏ３）、ニオブ酸ナトリウム－チタン酸バリウム（ＮａＮｂＯ３－ＢａＴｉＯ３）を主成分とすることが好ましい。主成分以外の元素としては、機械的品質係数や絶縁性が向上するという観点で、マンガンやビスマスを含むことが好ましい。

【００４０】

（振動子の製造方法）

本発明の振動子の製造方法は特に限定されないが、以下に代表的な製造方法を説明する。

【００４１】

振動子に用いる圧電素子は、一片の直方体状の圧電セラミックスに複数の電極を設けることによって得られる。ここで、一片の直方体状の圧電セラミックスは、例えば、所望の金属元素を有する原料粉末を焼成して、その焼結体を所望の形状に加工することによって得られる。また、複数の電極は、例えば、スパッタリングや金属ペーストを塗布、乾燥または焼き付けることによって設けることができる。

【００４２】

圧電素子に圧電性を発現させるためには、分極処理を行う必要がある。ここで、分極処理は後述する圧電素子を振動板に固着する工程の前でも後でも構わない。ただし、前記固着する工程の前に行うときは、以降の工程を当該圧電セラミックスのキュリー温度以下の温度で行う必要がある。圧電セラミックスが脱分極して、圧電性を消失することを避けるためである。

【００４３】

次に、前記圧電素子を前記振動板に固着する。固着に際しては、例えば、前記圧電素子または前記振動子の接着面に流動性のある樹脂前駆体を塗布する。ここで流動性とは、一定せず流れ動く性質であることを指す。また、前記樹脂前駆体とは硬化前の樹脂のことであり、液体状態の接着剤のことを指す。ここで前記接着剤は、いわゆる一液性でも二液性でも構わない。また、前記樹脂前駆体を塗布する面は圧電素子の接着面および振動子の接着面のどちらでも構わない。

【００４４】

続いて、前記樹脂前駆体を硬化する。硬化に際しては、前記塗布面を介して前記圧電素子と前記振動板とを加圧接触させる。樹脂前駆体の量が十分であると、加圧接触をさせることにより、樹脂前駆体を固着面から前記固着面に対して略垂直な前記圧電素子の側面のうち少なくとも一部に、はみ出せさせることが可能になる。一方、前記樹脂前駆体の量が不十分であると、前記側面にはみ出さないので好ましくない。また、任意の側面に前記樹脂前駆体をはみ出させる手段としては、前記塗布面を水平方向から任意の方向へ傾斜させること、前記圧電素子を振動板の端部に設けて前記端部にはみ出せないことが挙げられる。また、振動板に撥水処理を行い特定面にはみ出さないようにすること、はみ出した部分を除去すること等が挙げられる。前記加圧接触に際しては、圧電素子が振動板に対して移動しない程度以上、かつ圧電素子が割れない程度以下の圧力を加えることが必要である。また、前記樹脂前駆体が熱硬化性接着剤であるときは、前記圧電素子と前記振動板を加圧接触しながら振動子を加熱することにより、硬化時間を短縮することができる。加熱に際しては、前述したように圧電セラミックスのキュリー温度を考慮して、加熱温度を決定する必要がある。

【００４５】

さらに、必要に応じて前記複数の電極に給電部材を設けることもできる。給電部材を設けることにより、電圧入力手段（例えば、電源）と振動子の導通を行うことが可能になる。

【００４６】

（振動波駆動装置）

本発明の振動波駆動装置は、前述した振動子と、給電部材を有することを特徴とする。このような構成を採ることにより、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が小さい振動波駆動装置を提供できる。

【００４７】

図８は、本発明の振動波駆動装置の一実施形態を示した概略図である。図８に示すように、電圧入力手段９は、給電部材７と給電部材７に含まれる電気配線７１を通じて、振動子１０１１に電圧を印加するために設けられる。圧電素子１０１の２つの駆動相電極３１のうち右側に位置する駆動相電極に交番電圧（Ｖ１）を、左側に位置する駆動相電極３１には交番電圧（Ｖ２）をそれぞれ印加する。

【００４８】

Ｖ１およびＶ２を、モードＡの共振周波数付近の周波数で、かつ振幅と位相を同一にして印加すると、圧電素子１０１全体（駆動相電極３１）が伸縮する。この結果、振動子１０１１にはモードＡの振動が発生する。また、Ｖ１およびＶ２を、モードＢの共振周波数付近の周波数で、かつ振幅を同一に、位相を１８０°ずらして印加すると、右側の駆動相電極３１の圧電素子１０１が縮む。それととともに、左側の駆動相電極３１の圧電素子１０１が伸びたり、左側の駆動相電極３１の圧電素子１０１が縮むとともに、右側の駆動相電極３１の圧電素子１０１が伸びたりする。この結果、振動子１０１１にはモードＢの振動が発生する。このように、其々のモードのみを発生させると、例えばインピーダンスアナライザを用いることにより、其々のモードの共振周波数を測定することできる。

【００４９】

このとき、Ｖ１とＶ２の位相差を０°と１８０°の間の位相差θ（０°＜θ＜１８０°）とすると、（Ｖ１＋Ｖ２）と（Ｖ１－Ｖ２）の合成ベクトルは直交する。これは、モードＡとモードＢの振動が同時に発生し、かつ振動の位相差が９０°ずれていることを意味する。

【００５０】

すなわち、Ｖ１およびＶ２の電圧振幅を同じとし、Ｖ１およびＶ２の位相差θを０°および１８０°以外０°＜θ＜１８０°とすれば、モードＡとモードＢを同時に発生させることができる。また、Ｖ１とＶ２の位相差θを変更することにより、モードＡとモードＢの振幅を変更することができる。

【００５１】

（振動波モータ）

本発明の振動波モータは、前記振動波駆動装置と、前記振動板に接した移動体とを有することを特徴とする。このような構成を採ることにより、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が小さい振動波モータを提供できる。

【００５２】

図９は、本発明の振動波モータの一実施形態を示した概略図である。図９のように被駆動体（スライダ）８は突起部５１を介して振動板５上に設ける。２つの突起部５１は、振動板５の中心を通るＸＺ平面又はＹＺ平面に対して対称に配置させることが好ましい。振動子１０１１が突起部５１において被駆動体（スライダ）８から受ける反力に偏りがなくなるためである。ここで突起部５１の先端は被駆動体（スライダ）８が加圧接触されていることが好ましい。そうすることにより、被駆動体（スライダ）８は突起部５１の楕円運動によって矢印方向に移動することが可能になる。

【００５３】

（光学機器）

本発明の光学機器は、前述した振動波モータと、前記移動体と力学的に接続された光学部材とを有することを特徴とする。本発明において「力学的な接続」とは、一方の部材の座標変動、体積変化、形状変化によって生じた力が他方の部材に伝わるように直接的に接触している状態、または、第三の部材を介して接触している状態を指す。前述した振動波モータと、前記移動体と光学部材とを力学的に接続することにより、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が小さい光学機器を提供できる。

【００５４】

図１０は、本発明の光学機器（鏡筒装置のフォーカスレンズ部）の一実施形態を示した概略図である。図１０において、被駆動体（スライダ）８は、振動子１０１１と加圧接触している。また、給電部材７は、振動子１０１１の圧電素子１０１の第二の電極３（不図示）を有する面側に設けられている。不図示の電圧入力手段により、給電部材７を介して所望の電圧が振動子１０１１に加えられると、振動板の突起部（不図示）には楕円運動が発生する。

【００５５】

保持部材１１は、振動子１０１１と溶接などにより固定されており、不要な振動を発生させないように構成されている。移動筐体１２は、ビス１３で保持部材１１に固定され、振動子１０１１と一体をなしている。これらの部材により振動波モータ（超音波モータ）が形成される。２本のガイド部材１４に移動筐体１２を取り付けることで、振動波モータは、ガイド部材１４上を両方向（正進方向と逆進方向）に直進移動することが可能になる。

【００５６】

次に、鏡筒装置のフォーカスレンズの役割を担うレンズ１６（光学部材）について説明する。レンズ１６は、レンズ保持部材１５に固定され、振動波モータの移動方向と平行に光軸（不図示）を有する。レンズ保持部材１５は、振動波モータと同様に、後述する２本のガイド部材１４上を直進移動することで、焦点位置合わせ（フォーカス動作）を行う。２本のガイド部材１４は移動筐体１２とレンズ保持部材１５とを嵌合して、移動筐体１２とレンズ保持部材１５を直進移動することを可能にする部材である。このような構成で、移動筐体１２とレンズ保持部材１５はガイド部材１４上を直進移動することが可能になる。

【００５７】

また、連結部材１７は、振動波モータで発生した駆動力をレンズ保持部材１５へ伝達する部材であり、レンズ保持部材１５に嵌合して取り付けられる。これにより、レンズ保持部材１５は、移動筐体１２と共に滑らかに２本のガイド部材１４に沿って両方向に移動可能になる。

【００５８】

また、センサ１８は、レンズ保持部材１５の側面部に貼り付けられたスケール１９の位置情報を読み取ることで、ガイド部材１４上でのレンズ保持部材１５の位置を検出するために設ける。

【００５９】

以上のように、上述した各部材を組み込んで、鏡筒装置のフォーカスレンズ部を構成する。
【００６０】
上記においては、光学機器として、一眼レフカメラ用の鏡筒装置について説明したが、レンズとカメラ本体が一体となったコンパクトカメラ、電子スチルカメラ等、カメラの種類を問わず、振動波モータを備えた多様な光学機器に適用することができる。
【実施例】
【００６１】
以下に実施例を挙げて、本発明の振動子、振動子の製造方法、振動波駆動装置、振動波モータおよび光学機器を説明するが、本発明は、以下の実施例により限定されるものではない。
【００６２】
（実施例１）
まず、金属酸化物粉末を焼成して圧電セラミックスを得た。圧電セラミックスの組成を蛍光Ｘ線分析（ＸＲＦ）で測定したところ、１００重量部の（Ｂａ０．８５Ｃａ０．１５）（Ｔｉ０．９３Ｚｒ０．０７）Ｏ３に対してＭｎが金属換算で０．１６重量部含まれており、鉛の含有量は１０００ｐｐｍ未満であった。続いて、圧電セラミックスの結晶構造をＸ線回折測定（ＸＲＤ）で解析したところ、ペロブスカイト構造であることが分かった。すなわち圧電セラミックスは、チタン酸バリウム置換体よりなるペロブスカイト型金属酸化物を含有していた。
【００６３】
次に、圧電セラミックスを厚み０．３６ｍｍに研削、及び研磨加工した後に、８．７×５．７ｍｍ^{2}のサイズに切断し、一片の直方体状の圧電セラミックスを得た。圧電セラミックスの両面に、銀ペーストを用いて図８に示すような駆動相電極およびグラウンド電極をスクリーン印刷によって形成し、圧電素子を得た。ここで、グラウンド電極は回り込み電極を通じて圧電素子の表裏面で導通している。
【００６４】
次に、圧電素子に樹脂層を介して振動板を固着させた。
【００６５】
振動板は、ＪＩＳ規格の磁性ステレンス鋼ＳＵＳ４２０Ｊ２製で、寸法が９．０×５．８×０．３ｍｍ^{3}のものを使用した。また、振動板の面外には図７に示すような支持部を、面内には突起部を設けられている。樹脂前駆体としては、エポキシ系の液体接着剤（ガラス転移温度１２０℃）を用いて、ディスペンサによって振動板の接着面に前記樹脂前駆体を十分な量を塗布した。そして、圧電素子のグラウンド電極面と振動板とを３分間加圧接触させ、前記樹脂前駆体を接着領域から延在させ、圧電素子の対向する一対の側面部を被覆させた。ただし、前記樹脂前駆体は、振動板の面外までは延在しなかった。その状態で乾燥炉に入れて、１３０℃で６０分保持し、前記樹脂前駆体を硬化させることで樹脂層を形成した。
【００６６】
続いて、図８に示すように、圧電素子の振動板が固着していない第二の電極を有する面において、駆動相電極とグラウンド電極に給電部材を熱圧着により設けた。具体的には、圧電素子にフレキシブルケーブルよりなる給電部材を、異方性導電性フィルム（ＡＣＦ）で接続した。熱圧着の条件は、時間を１０秒間、圧力を２ＭＰａとした。
【００６７】
そして、圧電セラミックスに対し１００℃で分極処理を施した。具体的には、圧電素子の２つの駆動相電極それぞれに分極用のコンタクトピンを接触させ、振動板をグラウンドとして電圧を印加した。このとき、圧電セラミックスには電界強度が１．０ｋＶ／ｍｍとなるように直流電圧を３０分間印加した。
【００６８】
以上の工程により、本発明の振動子Ａを得た（以下、振動子Ａとする）。
【００６９】

次に、振動子Ａの樹脂層の形状を計測するため、駆動相電極を有する面側から光学顕微鏡にて観察を行った。その結果、図３（ｄ）のように、樹脂層が全ての側面を被覆していた。

【００７０】

続いて、振動子Ａの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測するため、超音波映像装置（日立建機製、製品名：ＦＳ３００）により、写真画像を得た。画像解析の結果、面積被覆率は９８％であった。

【００７１】

さらに、振動子Ａの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂層の最大高さの割合、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂層の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。そのために、振動子Ａの１つを圧電セラミックスの長辺と平行な方向に切断し、ＳＥＭによりその断面を観察した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂層の最大高さの割合は６５％、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂層の最大厚みは４．２μｍであった。さらに、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。

【００７２】

続いて、振動子Ａに給電部材を通じて電圧入力手段を接続し、図８のような振動波駆動装置Ａを作製した。

【００７３】

振動波駆動装置Ａに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ａの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。まず、Ｖ１とＶ２の位相差を０°としたときには、振動子Ａには２本の節線を有する面外振動モードＡが発生した。また、Ｖ１とＶ２の位相差を１８０°としたときには、振動子Ａには面外振動モードＡに略直交する３本の節線を有する面外振動モードＢが発生した。この結果より、振動子Ａの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。

【００７４】

（実施例２）

樹脂層を硬化させる前に、圧電素子の長辺方向にはみ出した樹脂層を除去した点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｂを得た。

【００７５】

次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｂの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｃ）のように、樹脂層が対向する一対の側面部を被覆していた。

【００７６】

続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｂの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は９５％であった。

【００７７】

さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｂの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は６１％、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは４．２μｍであった。さらに、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。

【００７８】

続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｂを作製した。

【００７９】

振動波駆動装置Ｂに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｂの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｂの樹脂層は、振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。

【００８０】
（実施例３）
樹脂層を硬化させる前に、圧電素子の短辺方向にはみ出した樹脂層を除去した点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｃを得た。
【００８１】
次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｃの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｂ）のように、樹脂層が対向する一対の側面部を被覆していた。
【００８２】
続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｃの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は９６％であった。
【００８３】
さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｃの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は６１％、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは４．２μｍであった。さらに、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３６ｍｍであった。
【００８４】
続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｃを作製した。
【００８５】
振動波駆動装置Ｃに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｃの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｃの樹脂層は、振動モードＡの腹線を被覆していることが分かった。
【００８６】
（実施例４）
樹脂層を硬化させる前に、圧電素子の短辺方向にはみ出した樹脂層を除去した点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｄを得た。
【００８７】
次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｄの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ａ）のように、樹脂層が側面部の一部を被覆していた。
【００８８】
続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｄの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は９７％であった。
【００８９】
さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｄの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は６０％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは６．１μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３４ｍｍであった。
【００９０】
続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｄを作製した。
【００９１】
振動波駆動装置Ｄに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｄの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｄの樹脂層は、振動モードＡの腹線を被覆していることが分かった。
【００９２】
（実施例５）

圧電素子と振動板との加圧接触させる時間を５分間にした点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｅを得た。

【００９３】

次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｅの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｄ）のように、樹脂層が全ての側面部を被覆していた。

【００９４】

続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｅの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は５８％であった。

【００９５】

さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｅの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は６５％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは５．３μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。

【００９６】

続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｅを作製した。

【００９７】

振動波駆動装置Ｅに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｅの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｅの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。

【００９８】

（実施例６）

圧電素子と振動板との加圧接触させる時間を１分間にした点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｆを得た。

【００９９】

次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｆの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｄ）のように、樹脂層が全ての側面部を被覆していた。

【０１００】

続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｆの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は６５％であった。

【０１０１】

さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｆの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は４％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは２．８μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。

【０１０２】

続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｆを作製した。

【０１０３】

振動波駆動装置Ｆに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｆの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｆの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。

【０１０４】

（実施例７）

圧電素子と振動板との加圧接触させる際の樹脂前駆体の量を２０％減らした点以外は、実施例６と同様の工程で振動子Ｇを得た。

【０１０５】

次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｇの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｄ）のように、樹脂層が全ての側面部を被覆していた。

【０１０６】

続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｇの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は９２％であった。

【０１０７】

さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｇの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は３５％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは０．４μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。

【０１０８】

続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｇを作製した。

【０１０９】

振動波駆動装置Ｇに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｇの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｇの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。

【０１１０】

（実施例８）

圧電セラミックスの組成を１００重量部の（Ｂａ０．８５Ｃａ０．１５）（Ｔｉ０．９３Ｚｒ０．０７）Ｏ３に対してＭｎが金属換算で０．１６重量部、さらにＢｉが金属換算で０．０３重量部となるようにした点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｈを得た。

【０１１１】

次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｈの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｄ）のように、樹脂層が全ての側面部を被覆していた。

【０１１２】

続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｈの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は９１％であった。

【０１１３】

さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｂの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は４０％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは３．０μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。

【０１１４】

続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｈを作製した。

【０１１５】

振動波駆動装置Ｈに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｈの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｈの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。

【０１１６】

（実施例９）
圧電セラミックスの組成を１００重量部の（Ｂａ０．８５Ｃａ０．１５）ＴｉＯ３に対してＢｉが金属換算で０．０３重量部となるようにした点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｉを得た。
【０１１７】
次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｉの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｄ）のように、樹脂層が全ての側面部を被覆していた。
【０１１８】
続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｉの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は９０％であった。
【０１１９】
さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｉの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は６０％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは７．１μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。
【０１２０】
続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｉを作製した。
【０１２１】
振動波駆動装置Ｉに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｉの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。その結果、振動子Ｉの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。
【０１２２】
（実施例１０）
圧電セラミックスの組成をＰｂ（Ｚｒ０．５２Ｔｉ０．４８）Ｏ３となるようにした点、圧電セラミックスを厚み０．４２ｍｍに研削、研磨加工した点、圧電セラミックスの分極処理に際し、温度を１５０℃、電界強度２．０ｋＶ／ｍｍにした点以外は、実施例１と同様の工程で振動子Ｊを得た。
【０１２３】
次に、実施例１と同様の工程で、振動子Ｊの樹脂層の形状を計測した。その結果、図３（ｄ）のように、樹脂層が全ての側面部を被覆していた。
【０１２４】
続いて、実施例１と同様の工程で、振動子Ｊの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測した。画像解析の結果、面積被覆率は９６％であった。
【０１２５】
さらに、実施例１と同様の工程で、振動子Ｊの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂層の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂層の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂層の最大高さの割合は６０％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂層の最大厚みは６．８μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．４１ｍｍであった。
【０１２６】
続いて、実施例１と同様の工程で図８のような振動波駆動装置Ｊを作製した。
【０１２７】
振動波駆動装置Ｊに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｊの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。そ

の結果、振動子Ｊの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線を被覆していることが分かった。

【０１２８】

（比較例１）

まず、金属酸化物粉末を焼成して圧電セラミックスを得た。圧電セラミックスの組成を蛍光Ｘ線分析（ＸＲＦ）で測定したところ、１００重量部の（Ｂａ０．８５Ｃａ０．１５）（Ｔｉ０．９３Ｚｒ０．０７）Ｏ３に対してＭｎが金属換算で０．１６重量部含まれており、鉛の含有量は１０００ｐｐｍ未満であった。続いて、圧電セラミックスの結晶構造をＸ線回折測定（ＸＲＤ）で解析したところ、ペロブスカイト構造であることが分かった。すなわち圧電セラミックスは、チタン酸バリウム置換体よりなるペロブスカイト型金属酸化物を含有していた。

【０１２９】

次に、圧電セラミックスを厚み０．３６ｍｍに研削、及び研磨加工した後に、８．７×５．７ｍｍ^{2}のサイズに切断し、一片の直方体状の圧電セラミックスを得た。圧電セラミックスの両面に、銀ペーストを用いて図８に示すような駆動相電極およびグラウンド電極をスクリーン印刷によって形成し、圧電素子を得た。

【０１３０】

次に、圧電素子に樹脂層を介して振動板を固着させた。

【０１３１】

振動板は、ＪＩＳ規格の磁性ステレンス鋼ＳＵＳ４２０Ｊ２製で、寸法が９．０×５．８×０．３ｍｍ^{3}のものを使用した。また、振動板の面外には図７に示すような支持部を、面内には突起部を設けられている。樹脂前駆体としては、エポキシ系の液体接着剤（ガラス転移温度１２０℃）を用いて、ディスペンサによって振動板の接着面に前記樹脂前駆体を塗布した。そして、圧電素子のグラウンド電極面と振動板とを３分間加圧接触させ、前記樹脂前駆体が接着領域から延在しないよう、圧電素子の周囲にゴムを置いた。その後、ゴムを取り除いてから乾燥炉に入れて、１３０℃で６０分保持し、前記樹脂前駆体を硬化させることで樹脂層を形成した。

【０１３２】

続いて、図８に示すように、圧電素子の振動板が固着していない第二の電極を有する面において、駆動相電極とグラウンド電極に給電部材を熱圧着により設けた。具体的には、圧電素子にフレキシブルケーブルよりなる給電部材を、異方性導電性フィルム（ＡＣＦ）で接続した。熱圧着の条件は、時間を１０秒間、圧力を２ＭＰａとした。

【０１３３】

そして、圧電セラミックスに対し１００℃で分極処理を施した。具体的には、圧電素子の２つの駆動相電極それぞれに分極用のコンタクトピンを接触させ、振動板をグラウンドとして電圧を印加した。このとき、圧電セラミックスには電界強度が１．０ｋＶ／ｍｍとなるように直流電圧を３０分間印加した。

【０１３４】

以上の工程により、比較例の振動子Ｋを得た。

【０１３５】

次に、振動子Ｋの樹脂層の形状を計測するため、駆動相電極を有する面側から光学顕微鏡にて観察を行った。その結果、樹脂層は側面部を被覆していなかった。

【０１３６】

続いて、振動子Ｋの樹脂層の接着領域における面積被覆率を計測するため、超音波映像装置（日立建機製、製品名：ＦＳ３００）により、写真画像を得た。画像解析の結果、面積被覆率は９５％であった。

【０１３７】

さらに、振動子Ｋの圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合を計測した。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みおよび圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みを計測

するために、振動子Ｋの１つを圧電セラミックスの長辺と平行な方向に切断し、ＳＥＭによりその断面を観察した。その結果、圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合は０％であった。さらに、振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚みは４．２μｍ、圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚みは０．３５ｍｍであった。

【０１３８】

続いて、振動子Ｋに給電部材を通じて電圧入力手段を接続し、図８のような振動波駆動装置Ｋを作製した。

【０１３９】

振動波駆動装置Ｋに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１０Ｖｐｐ）を印加し、振動子Ｋの変位をレーザードップラー振動計にて測定した。まず、Ｖ１とＶ２の位相差を０°としたときには、振動子Ｋには２本の節線を有する振動モードＡが発生した。また、Ｖ１とＶ２の位相差を１８０°としたときには、振動子Ａには振動モードＡに略直交する３本の節線を有する振動モードＢが発生した。この結果より、振動子Ｋの樹脂層は、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線のいずれをも被覆していないことが分かった。

【０１４０】

ここで、実施例１から１０および比較例１の結果を表１にまとめる。

【０１４１】

【表１】

			第一の電極を有する面から見た被覆形状	被覆されている腹線のモード
実施例1	圧電振動子A	振動波駆動装置A	被覆パターン4	振動モードA 振動モードB
実施例2	圧電振動子B	振動波駆動装置B	被覆パターン3	振動モードB
実施例3	圧電振動子C	振動波駆動装置C	被覆パターン2	振動モードA
実施例4	圧電振動子D	振動波駆動装置D	被覆パターン1	振動モードA
実施例5	圧電振動子E	振動波駆動装置E	被覆パターン4	振動モードA 振動モードB
実施例6	圧電振動子F	振動波駆動装置F	被覆パターン4	振動モードA 振動モードB
実施例7	圧電振動子G	振動波駆動装置G	被覆パターン4	振動モードA 振動モードB
実施例8	圧電振動子H	振動波駆動装置H	被覆パターン4	振動モードA 振動モードB
実施例9	圧電振動子I	振動波駆動装置I	被覆パターン4	振動モードA 振動モードB
実施例10	圧電振動子J	振動波駆動装置J	被覆パターン4	振動モードA 振動モードB
比較例1	圧電振動子K	振動波駆動装置K	被覆なし	なし

【０１４２】

【表２】

	樹脂層の接着領域における面積被覆率（%）	圧電素子の側面の高さに対する前記圧電素子の側面の一部の設けられた樹脂の最大高さの割合（%）	振動板と圧電素子と対向する領域に設けられた樹脂の最大厚み（μm）	圧電素子の側面に沿った方向の圧電セラミックスの厚み（mm）
実施例1	98	65	4.2	0.35
実施例2	95	61	4.2	0.35
実施例3	96	61	4.2	0.36
実施例4	97	60	6.1	0.34
実施例5	58	65	5.3	0.35
実施例6	65	4	2.8	0.35
実施例7	92	35	0.4	0.35
実施例8	91	40	3.0	0.35
実施例9	90	60	7.1	0.35
実施例10	96	60	6.8	0.41
比較例1	95	0	4.2	0.35

【０１４３】

【表３】

	樹脂層の振動板との位置関係	樹脂層の種類	圧電セラミックス中の鉛の含有量	圧電セラミックスの組成	振動板と同素材の支持部の有無
実施例1	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有
実施例2	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有
実施例3	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有
実施例4	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有
実施例5	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有
実施例6	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有
実施例7	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有
実施例8	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%＋Bi0．03wt%	有
実施例9	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})TiO_3$ ＋Bi0．03wt%	有
実施例10	振動板の面内	エポキシ系樹脂	50mol%	$Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$	有
比較例1	振動板の面内	エポキシ系樹脂	1000ppm未満	$(Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.93}Zr_{0.07})O_3$ ＋Mn0．16wt%	有

【０１４４】

（実施例１１から２０）

次に、実施例１から１０で作製した振動子Ａから振動子Ｊの振動板を被駆動体（スライダ）に接するように設け、図９のような振動波モータを作製した（実施例１１から２０）。作製した振動波モータに対し、駆動相電極を通じて、交番電圧Ｖ１およびＶ２（振幅はいずれも１００Ｖｐｐ）を印加した。このときＶ１とＶ２の位相差θは９０°→－９０°→９０°→－９０°と１００回繰り返し、被駆動体（スライダ）を図９の矢印方向に１００回往復駆動させた。その後、圧電素子と振動板との間に剥離が生じているか否かを確認するため、超音波映像装置（日立建機製、商品名：ＦＳ３００）により、写真画像を得た。駆動前の樹脂層の接着領域における面積被覆率と同様の手法で、駆動後の面積被覆率を計測した。その結果を表４に示す。

【０１４５】

（比較例２）

比較例１で作製した振動子Ｋを用いて、実施例１１から実施例２０と同様の工程で図９のような振動波モータを作製、駆動、評価した（比較例２）。

【０１４６】
【表４】

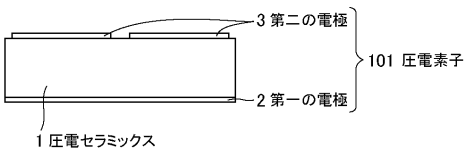
		連続駆動前の 樹脂層の接着領域における 面積被覆率（％）	連続駆動後の 樹脂層の接着領域における 面積被覆率（％）	連続駆動前後の 面積被覆率の差（％）
実施例１１	振動波モータA	98	98	0
実施例１２	振動波モータB	95	94	−1
実施例１３	振動波モータC	96	95	−1
実施例１４	振動波モータD	97	92	−5
実施例１５	振動波モータE	58	55	−3
実施例１６	振動波モータF	65	62	−3
実施例１７	振動波モータG	92	89	−3
実施例１８	振動波モータH	91	90	−1
実施例１９	振動波モータI	90	88	−2
実施例２０	振動波モータJ	96	94	−2
比較例２	振動波モータK	95	65	−30

【０１４７】
表４より、実施例１１から２０の振動波モータにおいては、連続駆動前後の面積被覆率の変化が－５％以下と、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が小さかった。一方で比較例２の振動波モータにおいては、連続駆動前後の面積被覆率の変化が－３０％と圧電素子と振動板との間に大きな剥離が生じてしまった。
【０１４８】
また、実施例１１から２０の中では、被覆パターン４の振動子を有する振動波モータの面積被覆率の変化が比較的小さかった。これは、振動モードＡの腹線および振動モードＢの腹線のいずれをも被覆していたことに起因すると考えられる。
【０１４９】
（実施例２１および比較例３）
実施例１１で作製した振動波モータと移動体と光学部材とを力学的に接続した図１０のような光学機器を作製した（実施例２１）。また、比較例２で作製した振動波モータと移動体と光学部材とを力学的に接続した図１０のような光学機器を作製した（比較例３）。どちらの光学機器も交番電圧の印加に応じたオートフォーカス動作が確認できたが、比較例３の光学機器は、１００回のオートフォーカス動作後に圧電素子と振動板との間に剥離が生じ、３０％以上の面積被覆率の低下が確認された。
【産業上の利用可能性】
【０１５０】
本発明の振動子は、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が小さい振動子を提供できる。また、本発明の振動子の製造方法は、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が小さい振動子を歩留まり良く提供できる。また、本発明の振動波駆動装置、振動波モータおよび光学機器は、圧電素子と振動板との間に剥離が生じる確率が小さい振動波駆動装置、振動波モータおよび光学機器を提供できる。さらに、本発明の振動子は、電子部品と振動子を用いた電子機器に適用可能である
【符号の説明】
【０１５１】
１　圧電セラミックス
１０１　圧電素子
１０１１　振動子
２　第一の電極
２１　グラウンド電極
３　第二の電極
３１　駆動相電極
４　樹脂層
４１　接着領域
５　振動板

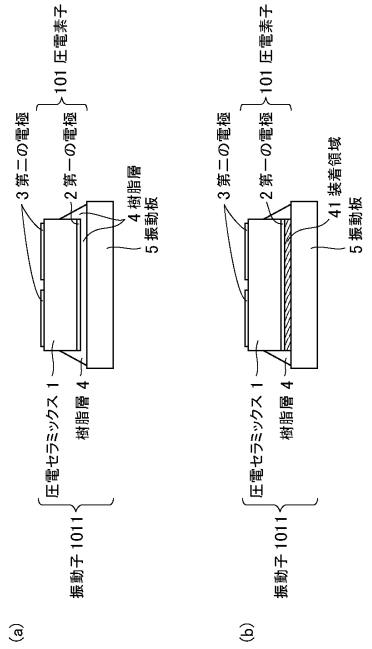
５１　突起部
６　支持部
７　給電部材
７１　電気配線
８　被駆動体（スライダ）
９　電圧入力手段
１１　保持部材
１２　移動筐体
１３　ビス
１４　ガイド部材
１５　レンズ保持部材
１６　レンズ
１７　連結部材
１８　センサ
１９　スケール

【図面】

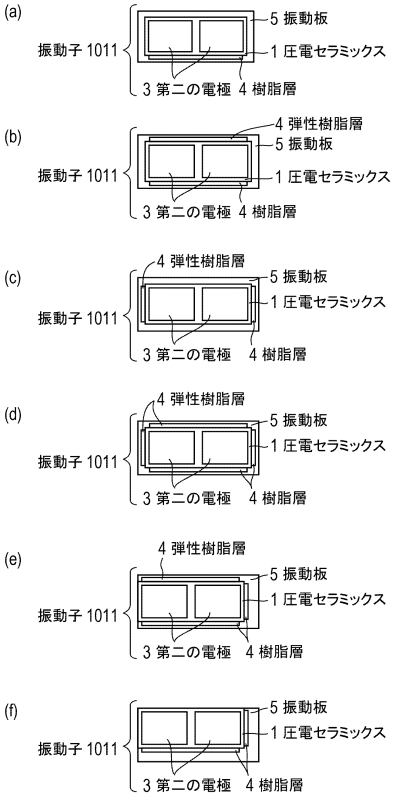
【図１】



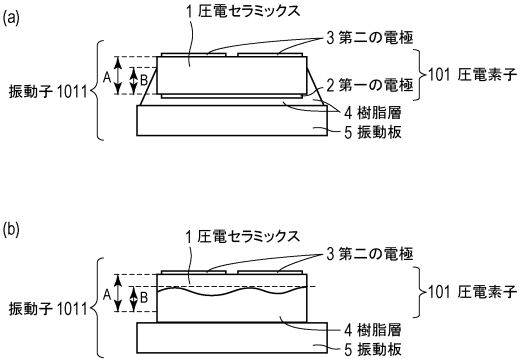
【図２】



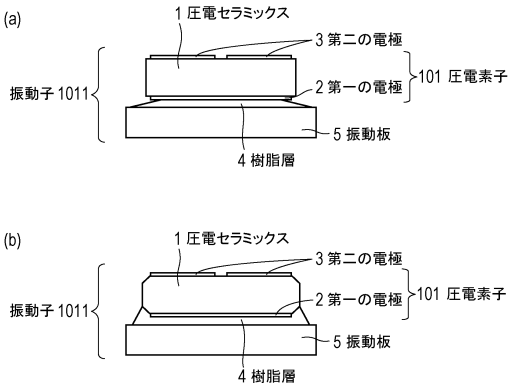
【図３】


(a)
振動子 1011
5 振動板
1 圧電セラミックス
3 第二の電極 4 樹脂層
(b)
4 弾性樹脂層
(c)
(d)
(e)
(f)

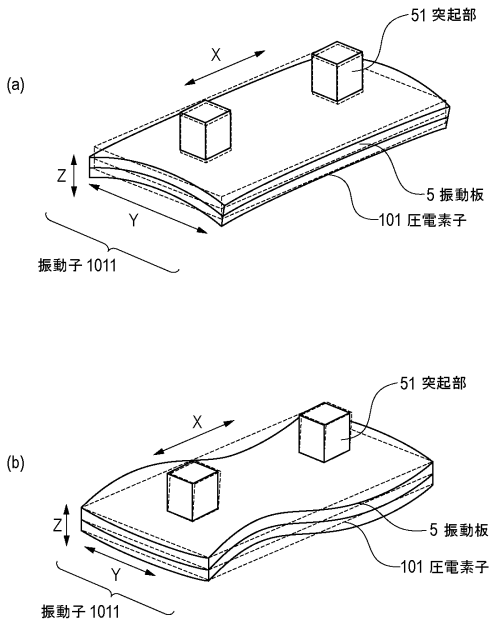
【図４】


(a)
1 圧電セラミックス
3 第二の電極
A
B
振動子 1011
2 第一の電極
101 圧電素子
4 樹脂層
5 振動板
(b)

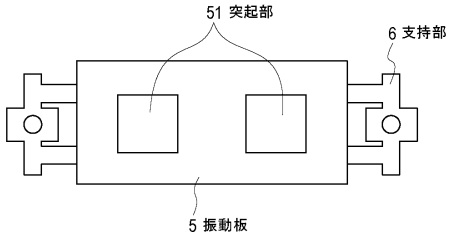
【図５】


(a)
1 圧電セラミックス
3 第二の電極
振動子 1011
2 第一の電極
101 圧電素子
5 振動板
4 樹脂層
(b)

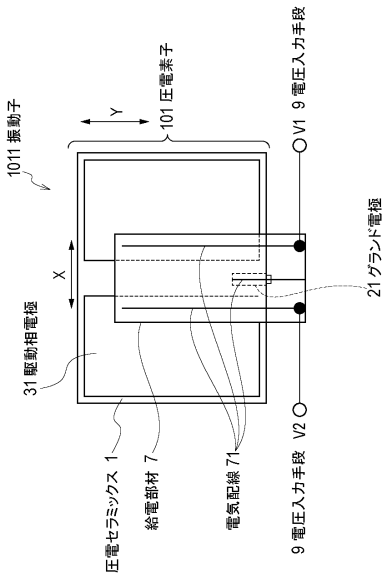
【図６】


(a)
51 突起部
X
Z
Y
5 振動板
101 圧電素子
振動子 1011
(b)

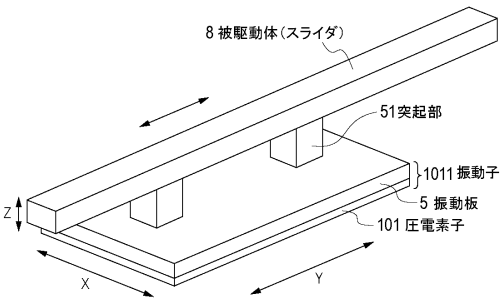
【図７】


51 突起部
6 支持部
5 振動板

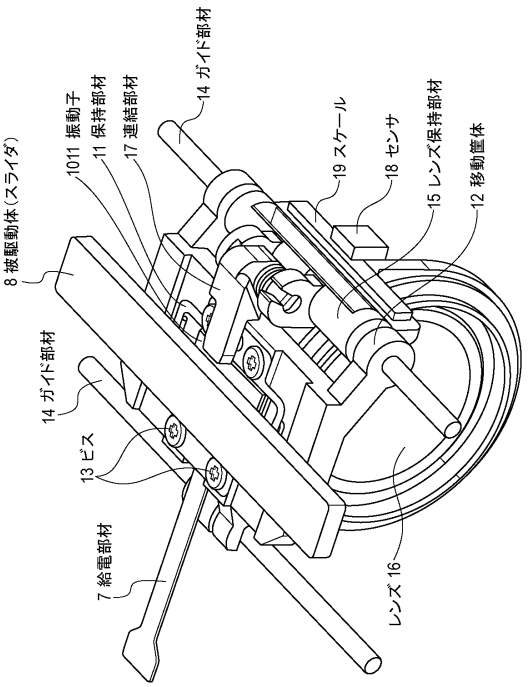
【図８】


1011 振動子
Y
101 圧電素子
V1 9 電圧入力手段
X
21 グランド電極
31 駆動相電極
圧電セラミックス 1
給電部材 7
電気配線 71
9 電圧入力手段 V2

【図９】


8 被駆動体（スライダ）
51突起部
1011 振動子
5 振動板
101 圧電素子
Z
X
Y

【図１０】


14 ガイド部材
1011 振動子
11 保持部材
17 連結部材
19 スケール
18 センサ
15 レンズ保持部材
12 移動筐体
8 被駆動体（スライダ）
14 ガイド部材
13 ビス
7 給電部材
レンズ 16

フロントページの続き

ヤノン株式会社内
(72)発明者　小山 信也
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内
(72)発明者　古田 達雄
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内
(72)発明者　久保田 純
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号キヤノン株式会社内
審査官　服部 俊樹

(56)参考文献　国際公開第２０１１／００７６４６（WO，Ａ１）
特開２０１５－２０８２１４（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－３２０８４６（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－０７２３９８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－０６０３４２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－１７２３３９（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１３／０３９１４９（WO，Ａ１）
国際公開第２０１２／１４４３７０（WO，Ａ１）
欧州特許出願公開第０１３６１６５７（ＥＰ，Ａ１）
特開２０１４－０１８０５７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｎ　２／０４
Ｈ０１Ｌ　４１／０９
Ｈ０１Ｌ　４１／０５３
Ｈ０１Ｌ　４１／１８７
Ｈ０１Ｌ　４１／３１３